

PENAMBAHAN OKSIDATOR NaOCl UNTUK PENINGKATAN EFISIENSI PEMISAHAN ^{99m}Tc DARI KOLOM GENERATOR $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ BERBASIS PBZ-TEOS

Kadarisman, Herlina, Umi Nur Sholikha

Pusat Radioisotop dan Radiofarmaka (PRR)-BATAN

Kawasan PUSPIPTEK, Serpong, Tangerang Selatan 15310

email: kadarisman_w@yahoo.com

(Naskah diterima: 3 Desember 2012, disetujui: 18 Januari 2013)

ABSTRAK

PENAMBAHAN OKSIDATOR NaOCl UNTUK PENINGKATAN EFISIENSI PEMISAHAN ^{99m}Tc DARI KOLOM GENERATOR $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ BERBASIS PBZ-TEOS. Generator $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ sangat dibutuhkan oleh rumah sakit di Indonesia dan digunakan untuk penyiapan sediaan radiofarmaka berbasis ^{99m}Tc secara rutin bagi keperluan diagnosa berbagai penyakit infeksi, inflamasi dan kanker. Badan Tenaga Nuklir Nasional, khususnya Pusat Radioisotop dan Radiofarmaka (PRR) yang bekerja sama dengan *Chiyoda Co.* dan *Japan Atomic Energy Agency (JAEA)* dari Jepang telah berhasil melakukan percobaan pembuatan kolom generator radioisotop $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ berbasis PZC dengan tingkat radioaktivitas sebesar 5000 mCi. Saat ini, PRR sedang melakukan penelitian dan pengembangan generator radioisotop $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ dengan menggunakan bahan penyerap Polimer Berbasis Zirkonium terlapis Tetra Etil Orto Silikon (PBZ-TEOS) yang disintesis PRR. Dalam penelitian ini menggunakan induk radioisotop ^{99}Mo dengan radioaktivitas 22,41 mCi dan 123,3 mCi. Untuk melihat yield radioisotop ^{99m}Tc yang dihasilkan telah dilakukan penggunaan oksidator NaOCl dengan variasi konsentrasi 0,25%, 0,5%, 0,75% dan 1,00%. Pengamatan yang dilakukan adalah menetapkan efisiensi penyerapan PBZ-TEOS terhadap radioisotop ^{99}Mo dan yield ^{99m}Tc . Penetapan efisiensi penyerapan ^{99}Mo ke dalam PBZ-TEOS produk PRR sebesar 99,76%, Yield ^{99m}Tc maksimum 14,37% pada konsentrasi NaOCl 1,00%.

Kata kunci: Generator $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$, NaOCl, ^{99}Mo , PBZ-TEOS, yield ^{99m}Tc .

ABSTRACT

NaOCl OXIDANT ADDITION TO INCREASE THE SEPARATION EFFICIENCY OF PZC-BASED $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ GENERATOR COLUMN. $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ generator is needed by hospitals in Indonesia and used for the preparation of ^{99m}Tc based radiopharmaceutical preparation for routine diagnostic purposes of infectious diseases, inflammation and cancer. The National Nuclear Energy Agency, particularly Center for Radioisotope and Radiopharmaceutical (CRR), in collaboration with *Chiyoda Co.* and the *Japan Atomic Energy Agency (JAEA)* of Japan have successfully experimented the manufacture of PZC-based $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ radioisotope generator column to a radioactivity level of 5000 mCi. Currently, the CRR is conducting research and development on the synthesis of $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ radioisotope generator using an absorbent material of Polymer Based Zirconium coated with Tetra Ethyl Ortho Silicate (PBZ-TEOS). In this study, the

experiment uses ^{99}Mo parent radioisotope of 22.41 mCi and 123.3 mCi. To study the resulting yield of $^{99\text{m}}\text{Tc}$ radioisotope, the experiment was done with variations of NaOCl oxidant concentration of 0.25%, 0.5%, 0.75% and 1.00%. Observations performed in the experiment includes the PBZ-TEOS absorption efficiency of the ^{99}Mo radioisotope and the $^{99\text{m}}\text{Tc}$ yield. It was found that the absorption efficiency of ^{99}Mo by PBZ-TEOS of CRR products was 99.76% at a NaOCl concentration of 1.00% and the maximum $^{99\text{m}}\text{Tc}$ yield at a NaOCl concentration of 1.00% was 14.37%.

Keywords: $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ generator, NaOCl, ^{99}Mo , PBZ-TEOS, $^{99\text{m}}\text{Tc}$ yield.

PENDAHULUAN

Generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ menghasilkan radioisotop $^{99\text{m}}\text{Tc}$ yang merupakan radioisotop medis utama yang digunakan untuk diagnosis. Produk radiofarmaka berbasis $^{99\text{m}}\text{Tc}$ banyak digunakan untuk pencitraan paru, tulang, menentukan fungsi ginjal, hati, kandung empedu dan diagnosis lainnya. Di Eropa dari sekitar 30 juta prosedur diagnosis, diantaranya berjumlah 10 juta prosedur diagnosis pada pasien menggunakan radiofarmaka berbasis $^{99\text{m}}\text{Tc}$ setiap tahunnya^[1-2].

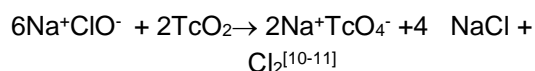
Radioisotop $^{99\text{m}}\text{Tc}$ merupakan tulang punggung utama untuk diagnosis di bidang kedokteran nuklir, karena itu metode proses produksi $^{99\text{m}}\text{Tc}$ melalui generator radioisotop $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ terus berkembang. Indonesia, dalam hal ini Badan Tenaga Nuklir Nasional, melalui Pusat Radioisotop dan Radiofarmaka telah bekerja sama dengan Chiyodo Co. dan Japan Atomic Energy Agency (JAEA), Jepang berhasil melakukan percobaan pengembangan generator radioisotop $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ berbasis *Poly Zirconium Compound* (PZC) pada tingkat radioaktivitas 5000 mCi dan PRR sendiri telah melakukan percobaan membuat generator radioisotop $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ dengan radioaktivitas 600 mCi dan 800 mCi. Pusat Radioisotop dan Radiofarmaka melanjutkan penelitian sintesis matriks Polimer Berbasis Zirkonium yang dilapis *Tetra Ethyl Ortho Silicate* (PBZ-TEOS) sebagai pengisi kolom generator radioisotop $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ ^[3-5].

Generator radioisotop $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ berbasis polimer zirkonium telah banyak dikembangkan. *Poly Zirconium Compound* dirintis dan dikembangkan oleh KAKEN Co. dan JAERI Jepang telah menunjukkan bahwa bahan tersebut memberikan harapan sebagai adsorben/penyerap untuk generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ yang diisi dengan molibdenum alam terirradiasi karena kapasitas adsorpsinya terhadap molibdenum 100 kali lebih besar dari pada alumina^[4]. Beberapa penelitian penggunaan bahan PZC dalam generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}(n,\gamma)$ telah dilaporkan. Akhir-akhir ini telah dilaporkan bahwa, penggunaan zat pengoksidasi (NaOCl) telah meningkatkan yield $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ^[6]. Dalam makalah ini telah dilakukan preparasi kolom ^{99}Mo -PBZ-TEOS yang dicuci menggunakan NaOCl dan digabungkan dengan kolom II yang berisi alumina. Dalam proses pengisian radionuklida ^{99}Mo ke dalam matriks PBZ-TEOS diamati efisiensi serapan PBZ-TEOS terhadap ^{99}Mo . Dalam proses elusi diamati yield radioisotop $^{99\text{m}}\text{Tc}$ dan lolosan ^{99}Mo dengan memvariasikan konsentrasi larutan NaOCl. Di samping itu telah dilakukan pula analisis unsur matriks PBZ-TEOS sebelum dan sesudah dicampur dengan molibdenum terirradiasi.

Di dalam tabel periodik unsur, teknisium berada di nomor atom 43, termasuk di dalam kelompok logam transisi. Unsur ini memiliki konfigurasi elektron $[\text{Kr}]4d^5s^2$. Di dalam konfigurasi elektron tersebut, $[\text{Kr}]$ menunjukkan konfigurasi elektron dari gas mulia krypton. Teknisium memiliki beberapa bilangan oksidasi dari +1

sampai dengan +7. Bilangan oksidasi ini merupakan parameter penting dalam menentukan senyawa-senyawa kompleks yang dapat dibentuk. Senyawa-senyawa kompleks teknesium memiliki bilangan koordinasi (N) yang beragam dari 4 sampai dengan 7. Struktur senyawa kompleksnya sangat beragam, dapat berupa *tetrahedral* (N=4), *tetragonal pyramidal* (N=5), *octahedral* (N=6), *capped octahedral* (N=7) atau *pentagonal bipyramidal* (N=7). Teknesium sangat kaya dengan berbagai variasi dan kemungkinan dalam membentuk senyawa kompleks. Oleh sebab itu, berbagai jenis ligan dengan bioaktif tertentu telah berhasil diikat dengan teknesium. Senyawa kompleks teknesium juga memiliki muatan yang bervariasi yaitu +1, netral dan bermuatan -1^[7-8].

Bilangan oksidasi Teknesium adalah +7, +5, dan +4. Teknesium (VII) akan terdapat sebagai ion perteknetat, TcO_4^- . Teknesium larut dalam asam nitrat, aqua regia, dan asam sulfat pekat, tapi tidak dapat larut dalam asam klorida dalam berbagai konsentrasi^[9]. Pada tingkat oksidasi 4, teknesium dapat berupa (TcO_2) tidak bermuatan, sehingga kalau $^{99m}\text{TcO}_2$ yang terdapat di dalam sistem generator radioisotop $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$, dielus dengan larutan salin (NaCl 0,9%) maka TcO_2 tidak terelus sebagai eluat ion perteknetat (TcO_4^-). Karena itu senyawa TcO_2 harus diubah menjadi ion perteknetat sesuai dengan reaksi seperti di bawah ini;



Penelitian ini ^{99m}Tc dikehendaki berbentuk ion perteknetat ($^{99m}\text{TcO}_4^-$), artinya unsur teknesium radioaktif harus mempunyai tingkat oksidasi tertinggi yaitu +7, maka harus ditambahkan bahan oksidator. Penelitian ini digunakan agen oksidator larutan NaOCl dengan konsentrasi 0,25%, 0,50%, 0,75% dan 1,00%. Diharapkan dengan tambahan larutan oksidator NaOCl ini radioisotop ^{99m}Tc dapat

membentuk ion perteknetat dan yang mudah lepas dari kolom generator $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ berbasis PBZ-TEOS.

TATA KERJA

Bahan dan peralatan

Bahan kimia yang digunakan Polimer Berbasis Zirkonium berlapis TEOS (PBZ-TEOS), molibdenum tri oksida (MoO_3), NaCl 0,9% dan akuabides, serbuk Al_2O_3 aktif NaOH pelet, HCl pekat dan NaOCl. Bahan penunjang; penyaring Millex-FG 0,22 μm , Jarum Suntik (Syringe) 5 dan 10 mL, gelas filter, Kertas pH universal dengan pH dari 1 s/d 14. Kolom gelas yang dilengkapi dengan fritz (panjang= 5 cm dan ϕ = 0,5 cm) dan kolom gelas untuk alumina aktif (panjang= 3 cm dan ϕ = 0,5 cm).

Pemeriksaan konsentrasi radioaktivitas, ^{99}Mo dan kemurnian radionuklida dilakukan dengan menggunakan *Dose Calibrator (ATOMLAB™ 100plus)* dan seperangkat spektrometer sinar gamma (γ) yang dilengkapi dengan analisator saluran ganda model *Ortec X-Cooler* dan detektor Germanium kemurnian tinggi (HP-Ge) dari *Ortec*, serta perangkat lunak *MCA Gennie 2000 VDM*. Perangkat spektrometer gamma dikalibrasi menggunakan sumber standar pemancar gamma campuran Cs-137 (661,64 KeV), Co-60 (1173,23 KeV dan 1332,51 KeV) dan Ba-133 (302,85 KeV dan 356,01 KeV) yang merupakan standar sekunder. Pipet Eppendorf dengan kapasitas 5 μL dan 50 μL digunakan untuk pengambilan cuplikan yang akan diperiksa dengan spektrometer gamma dan *Dose Calibrator*.

Cara kerja

Irradiasi sasaran MoO_3 alam

Sebanyak 4 dan 5,0 gram MoO_3 alam dimasukkan ke dalam ampul quartz, selanjutnya ampul quartz dilas hingga kedap

udara, kemudian dimasukan ke dalam tabung aluminium inner dan outer, di las pula hingga kedap udara dan diirradiasi ke dalam teras reaktor Serba Guna G.A. Siwabessy.

Pelarutan MoO_3 terirradiasi

Tabung quartz yang berisi target MoO_3 terirradiasi dipindahkan ke Hot Cell dan dimasukkan ke dalam bejana gelas baru, tabung quartz dipotong bagian atasnya menggunakan pisau pemotong (tang). Target MoO_3 alam terirradiasi dimasukkan ke dalam bejana gelas yang bersih. Sebanyak volume tertentu NaOH 6M [15 mL percobaan 1 dan 10 mL percobaan 2] ditambahkan ke dalam bejana yang berisi MoO_3 terirradiasi, selanjutnya diletakkan di atas hot plate dan diaduk dengan pengaduk magnet sampai larut sempurna. Setelah larut sempurna pH larutan MoO_3 terirradiasi diatur sampai menjadi pH 7 menggunakan HCl 4M dan diencerkan menggunakan akuabides sampai volume tertentu [menjadi 15 mL (percobaan 1) dan 20 mL (percobaan 2)] (larutan stok ^{99}Mo). Dicuplik sebanyak 50 μL larutan stok ^{99}Mo dimasukkan ke dalam vial gelas 10 mL dan vial ini dimasukkan ke dalam wadah aluminium dan dicacah radioaktivitasnya menggunakan Dose Calibrator, catat radioaktivitas ^{99}Mo , jam dan tanggal pencacahan.

Preparasi kolom alumina

Sebanyak 6.0 gram serbuk alumina aktif dimasukkan ke dalam bejana gelas 25 mL, ditambahkan 10 mL NaCl 0,9% diaduk. beberapa saat. Setelah alumina dicuci selanjutnya dimasukkan ke dalam kolom gelas berukuran panjang 5 cm dan diameter 0,5 cm dan digunakan untuk elusi $^{99\text{m}}\text{Tc}$. Untuk setiap kolom II berisi masing masing 1 gram

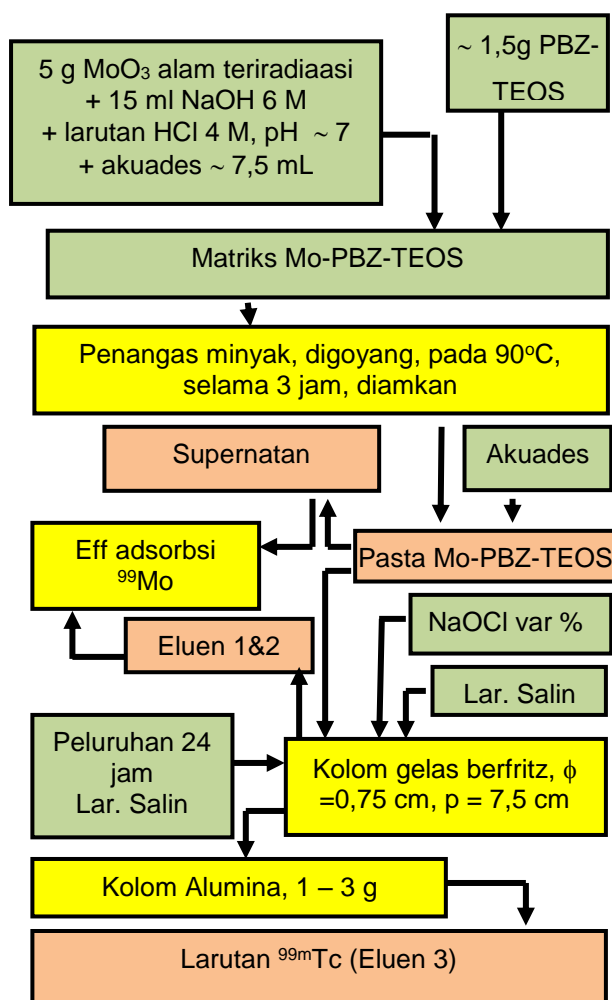
Preparasi kolom PBZ-TEOS

Sebanyak 0,5625 mL dan 1,5 mL larutan ^{99}Mo dengan masing masing

radioaktivitas 22,41 mCi dan 123,3 mCi berat Mo terhitung = 150 mg dan 222,22 mg) dimasukkan ke dalam erlenmeyer 25 mL tertutup. Percobaan dilakukan 2 kali ulangan, dengan variasi konsentrasi larutan NaOCl (0,25%, 0,50%, 0,75% dan 1,00%). Ke dalam erlenmeyer yang berisi larutan ^{99}Mo dimasukkan 1,5 gram PBZ-TEOS. Sebanyak 10 mL akuabides ditambahkan ke dalam erlenmeyer 25 mL. Campuran digoyang-goyang sampai serbuk PBZ-TEOS terendam semua ke dalam larutan stok ^{99}Mo . Erlenmeyer yang berisi campuran ^{99}Mo -PBZ-TEOS dimasukkan ke dalam penangas air pada temperatur 90°C selama 3 jam. Digoyang beberapa saat dalam antara waktu 15 menit, dидiamkan beberapa saat sampai padatan dan cairan terpisah sempurna. Campuran Mo-PBZ-TEOS, didekantasi dan supernatan ^{99}Mo ditampung dalam botol polietilen 50 mL. Pasta Mo-PBZ-TEOS di dalam erlenmeyer dicuci lagi dengan 10 mL akuabides steril, dидiamkan hingga padatan halus terpisah dengan larutannya, kemudian campuran didekantasi lagi dan supernatan ^{99}Mo dimasukkan ke dalam botol polietilen 50 mL. Pasta Mo-PBZ-TEOS dimasukkan ke dalam kolom gelas berfritz yang di atasnya dilapisi dengan filter gelas. Kolom gelas ditutup dengan septa karet dan selanjutnya masing masing dielusi menggunakan 10 mL larutan NaOCl (0,25%, 0,50%, 0,75% dan 1,00%). Masing masing eluat ditampung di dalam vial 10 mL. Selanjutnya kolom Mo-PBZ-TEOS dicuci menggunakan 10 mL larutan salin (NaCl 0,9%). Masing masing eluat ditampung di dalam vial 10 mL, kemudian supernatan ^{99}Mo dicuplik sebanyak volume tertentu (10 mL), dimasukan ke dalam vial 10 mL dan radioaktivitas ^{99}Mo diukur dengan Dose Calibrator. Eluat NaOCl dan NaCl masing masing diukur radioaktivitas ^{99}Mo menggunakan Dose Calibrator, kemudian kolom gelas yang berisi pasta Mo-PBZ-TEOS dihubungkan dengan kolom alumina (berisi serbuk alumina aktif kira-kira 1 gram).

Elusi radioisotop ^{99m}Tc

Radioisotop ^{99m}Tc di dalam kolom generator dielusi dengan 10 mL larutan salin. Eluat ditampung ke dalam vial 10 mL, dan kemudian dicacah menggunakan *Dose Calibrator*. Eluat yang ada di dalam vial 10 mL, dimasukkan ke dalam kontainer dan dicacah dengan Spektrometer Gamma. Metoda percobaan preparasi kolom generator $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ hingga elusi radioisotop ^{99m}Tc ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Proses pembuatan kolom generator $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil preparasi kolom generator radioisotop $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ berbasis PBZ-TEOS, diperoleh data hasil percobaan dalam Tabel 1 dan 2.

Tabel 1. Hasil percobaan 1 preparasi kolom generator $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ berbasis PBZ-TEOS.

No	NaOCl (%)	Vol. Stok (mL)	^{99}Mo (mCi)	PBZ-TEOS (g)
1	0,25	0,5625	22,41	1,5
2	0,50	0,5625	22,41	1,5
3	0,75	0,5625	22,41	1,5
4	1,00	0,5625	22,41	1,5
NO	NaOCl (%)	pH larutan ^{99}Mo		
		Sb	Aw	St
1	0,25	7	2	1
2	0,50	7	2	1
3	0,75	7	2	1
4	1,00	7	2	1

Keterangan: Sb = pH larutan PBZ-TEOS-TEOS sebelum dicampur ^{99}Mo , Aw = pH campuran stok ^{99}Mo dan PBZ-TEOS awal (sebelum dipanaskan), St = pH campuran stok ^{99}Mo dan PBZ-TEOS akhir (setelah dipanaskan)

Tabel 2. Hasil percobaan 2 preparasi kolom generator $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ berbasis PBZ-TEOS.

No	NaOCl (%)	Vol. Stok (mL)	^{99}Mo (mCi)	PBZ-TEOS (g)
1	0,25	1,50	123,3	1,50
2	0,50	1,50	123,3	1,50
3	0,75	1,50	123,3	1,50
4	1,00	1,50	123,3	1,50
NO	NaOCl (%)	pH larutan ^{99}Mo		
		Sb	Aw	St
1	0,25	7	6	2
2	0,50	7	6	2
3	0,75	7	6	2
4	1,00	7	6	2

Dalam percobaan preparasi matriks ^{99}Mo -PBZ-TEOS pada percobaan 1 diperoleh pH 1 dan pH 2 pada percobaan 2. Selanjutnya dapat dihitung efisiensi penyerapan radioisotop ^{99}Mo , sebagai contoh perhitungan efisiensi penyerapan ^{99}Mo digunakan hasil percobaan 1, pada penambahan NaOCl 0,25%, yang dapat dijelaskan seperti berikut:

Pada percobaan ini digunakan bahan sasaran MoO_3 yang setara dengan 1600 mg Mo dan diirradiasi di dalam reaktor GA. Siwabessy dan setelah dilarutkan dalam larutan NaOH 6M, diperoleh larutan ^{99}Mo sebanyak 6 mL dengan konsentrasi radioaktivitas sebesar 39,84 mCi/mL. Diambil pendekatan bahwa kapasitas serap PBZ-TEOS terhadap molibdenum sebesar 100 mg/g. Apabila PBZ-TEOS yang dimasukkan ke dalam kolom sebanyak 1,5 gram, maka molibdenum yang dibutuhkan ke dalam kolom sebanyak 150 mg. Hal tersebut setara dengan 0,5625 mL larutan ^{99}Mo , atau radioaktivitas ^{99}Mo sebesar 22,41 mCi (saat pengukuran 10 April 2012, pukul 09:55). Molibdenum-99 yang lolos saat preparasi kolom generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ total (dari supernatan, elusi NaOCl dan elusi salin) sebesar 0,0349 mCi (dihitung saat pengukuran 10 April 2012, pukul 09:55), sehingga efisiensi penyerapan ^{99}Mo diperoleh sebesar ;

$$\begin{aligned} \text{Efi. } ^{99}\text{Mo} &= \frac{(22,41 - 0,0349) \text{ mCi}}{22,41 \text{ mCi}} \times 100 \% \\ &= 99,84\% \end{aligned}$$

Dengan perhitungan yang sama, hasil efisiensi penyerapan PBZ-TEOS terhadap radioisotop ^{99}Mo diperlihatkan dalam Tabel 3 dan Tabel 4.

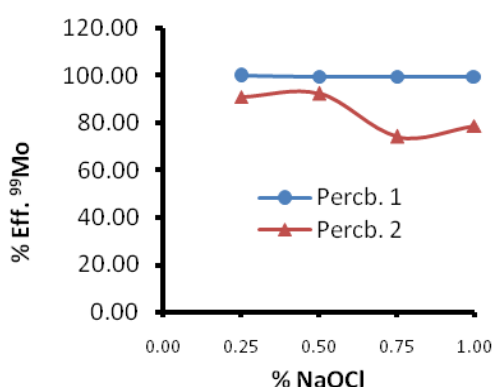
Tabel 3. Efisiensi penyerapan ^{99}Mo pada percobaan 1

No	NaOCl (%)	^{99}Mo awal (mCi)	^{99}Mo lolos (mCi)	Efisiensi (%)
1	0,25	22,41	0,0349	99,84
2	0,50	22,41	0,0905	99,60
3	0,75	22,41	0,0513	99,77
4	1,00	22,41	0,0827	99,63
Rata rata				99,71

Tabel 4. Efisiensi penyerapan ^{99}Mo pada percobaan 2

No	NaOCl (%)	^{99}Mo awal (mCi)	^{99}Mo lolos (mCi)	Efisiensi (%)
1	0,25	123,3	11,0334	91,05
2	0,50	123,3	33,7311	92,41
3	0,75	123,3	35,6603	74,15
4	1,00	123,3	26,3644	78,92
Rata rata				81,92

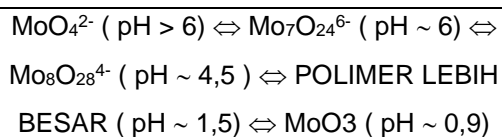
Sebagai penjelasan perbandingan antara percobaan 1 dengan percobaan 2 hasil efisiensi penyerapan ^{99}Mo ke dalam matriks PBZ-TEOS diperlihatkan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Kurva % NaOCl vs % Efisiensi penyerapan ^{99}Mo

Setelah pemanasan, pada 2 kali percobaan diperoleh pH matriks ^{99}Mo -PBZ-TEOS yang berbeda, hal ini disebabkan pH awal dari matriks PBZ-TEOS sebelum dicampur. Pada percobaan 1 diperoleh pH 1, pada kondisi ini ^{99}Mo terirradiasi

berbentuk molekul MoO_3 yang berupa pasta, sehingga mudah tertahan oleh matriks PBZ-TEOS. Di samping itu pendekatan kapasitas serap matriks PBZ-TEOS hanya 90 mg Mo/g PBZ-TEOS, sedangkan percobaan sebelumnya berkisar antara 170 s/d 240 mg Mo/g PBZ-TEOS, sehingga efisiensi penyerapan tinggi (rata rata 99,71%). Sementara pada percobaan ke 2 diperoleh matriks ^{99}Mo -PBZ-TEOS dengan pH 2, ^{99}Mo terirradiasi dalam bentuk polimer (Gambar 3) dengan molekul besar bermuatan negatif dan mengisi muatan muatan positif yang ada pada matriks PBZ-TEOS, sehingga efisiensi penyerapan ^{99}Mo ke dalam matriks PBZ-TEOS masih tinggi (rata rata 81,92%). Hal tersebut karena larutan ^{99m}Tc hasil elusi digunakan untuk diagnosis manusia dan NaOCl berupa oksidator, maka tidak mungkin dilakukan lebih dari 1,00%.



Gambar 3. Efek pH larutan terhadap bentuk molekul molibdenum^[12].

Hasil elusi menunjukkan bahwa pada konsentrasi NaOCl 1,00% mempunyai *yield* radioisotop ^{99m}Tc (kolom generator $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ berbasis PBZ-TEOS) paling tinggi, yaitu sebesar 14,37% (percobaan 1) dan sebesar 11,22% (percobaan 2), sedangkan reratanya sebesar 12,79%. Hal ini menunjukkan bahwa konsentrasi NaOCl 1,00% menghasilkan radioisotop ^{99m}Tc paling tinggi.

Tabel 4. Hasil elusi menggunakan larutan salin setelah dididamkan sekitar 24 jam.

Percobaan 1

No	NaOCl (%)	Akt. ^{99}Mo (mCi)	Akt. ^{99m}Tc (mCi)	Yield ^{99m}Tc (%)
1	0,25	22,41	1,617	8,31
2	0,50	22,41	1,790	9,23
3	0,75	22,41	2,640	13,44
4	1,00	22,41	2,790	14,37

Percobaan 2

No	NaOCl (%)	Akt. ^{99}Mo (mCi)	Akt. ^{99m}Tc (mCi)	Yield ^{99m}Tc (%)
1	0,25	123,3	1,529	1,41
2	0,50	123,3	1,480	1,39
3	0,75	123,3	7,930	7,28
4	1,00	123,3	12,180	11,22

Rata rata Efisiensi Pemisahan

No	NaOCl (%)	Rata rata Yield (%)	Ket
1	0,25	4,86	
2	0,50	5,31	
3	0,75	10,36	
4	1,00	12,79	

SIMPULAN

Dalam percobaan ini, hasil elusi radioisotop ^{99m}Tc dari matriks PBZ-TEOS dengan menggunakan 10 mL larutan salin, dengan penambahan NaOCl yang konsentrasinya 1,00% diperoleh radioisotop ^{99m}Tc *yield* maksimum sebesar 14,37% untuk percobaan 1 dan sebesar 11,22% untuk percobaan 2, sehingga diperoleh *yield* rerata sebesar 12,79%. Hal tersebut di atas menunjukkan bahwa dengan menggunakan oksidator NaOCl dengan konsentrasi 1,00% menghasilkan radioisotop ^{99m}Tc paling tinggi.

DAFTAR PUSTAKA :

1. Stephen E. Littlejohn. (2010). *Resentation Abstract*. Vice President, Communications, Covidien, Covidien Reach Extends Globally and Locally.

-
2. Anonim. (2012). Radiosotopes in Medicine. <http://www.world-nuclear.org/infomap.aspx>.
 3. Kadarisman, Endang Sarmini, Mujinah dan Dede Kurniasih. (2012) Perbandingan Unjuk Kerja Poly Zirconium Compound (PZC) dari KAKEN dengan Polimer Berbasis Zirkonium (PBZ-TEOS) DARI PRR untuk Kolom Generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$. Seminar Nasional Kimia, Universitas Palangka Raya.
 4. Elvira Z. Sombrito. (2003). *Performance tests on new chromatographic material for $^{99}\text{Mo}-^{99\text{m}}\text{Tc}$ generators*. The 2002 workshop on utilization of research reactors, 159 – 167.
 5. Han, H.S. (2003). *Status development and production of $^{99\text{m}}\text{Tc}$ radiosotope and its generator in Korea*. The 2002 workshop on utilization of research reactors, 135 -144.
 6. Mutalib, A., Gunawan, A. H. (2003). *Performance of (n,γ) $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ generators based on PZC materials and neutron irradiated natural molybdenum*.
 7. Heat Exchanger. (2013). *Manufacturing Air Cooled Heat Exchanger*. Chemistry.org, Situs Kimia Indonesia. www.metalindo-engineering.com.
 8. Rohadi Awaludin. (2011). Radioisotop Tenesium-99m dan Kegunaannya. Buletin Alara, Volume 13 Nomor 2, 61 – 65.
 9. Aveng Water. (2013). *Water Treatment Plant Design, Installation and Maintenance*. www.avengwater.co.za.
 10. AuLia Az Zahra. (2011). Error! Hyperlink reference not valid., Posted 12th June
 11. Merry. (2013). www.slideshare.net/merryfitriani/tugas-kimia-merry.
 12. Anonim. (2003). *Proceedings The Workshop on the Utilization of Research Reactors*. January, 13-17.